

N

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-12364

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

| (51) Int.Cl. <sup>4</sup>     | 識別記号  | 序内整理番号 | F I            | 技術表示箇所 |
|-------------------------------|-------|--------|----------------|--------|
| H 0 5 B 6/10                  | 3 0 1 |        | H 0 5 B 6/10   | 3 0 1  |
| C 2 3 C 16/44                 |       |        | C 2 3 C 16/44  | H      |
| H 0 1 L 21/205                |       |        | H 0 1 L 21/205 |        |
| 21/31                         |       |        | 21/31          | B      |
| // C 3 0 B 25/10              |       |        | C 3 0 B 25/10  |        |
| 審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁) |       |        |                |        |

|           |                  |          |  |
|-----------|------------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願平8-157105      | (71) 出願人 | 000006013<br>三菱電機株式会社<br>東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 |
| (22) 出願日  | 平成8年(1996) 6月18日 | (72) 発明者 | 木ノ内 伸一<br>東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三<br>菱電機株式会社内  |
|           |                  | (72) 発明者 | 椿井 陽一郎<br>東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三<br>菱電機株式会社内  |
|           |                  | (72) 発明者 | 白木 康博<br>東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三<br>菱電機株式会社内   |
|           |                  | (74) 代理人 | 弁理士 曾我 道照 (外6名)                            |

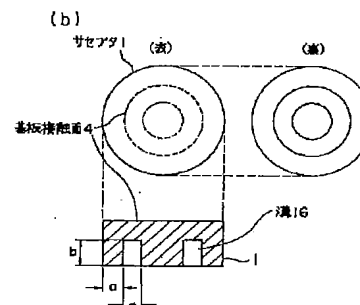
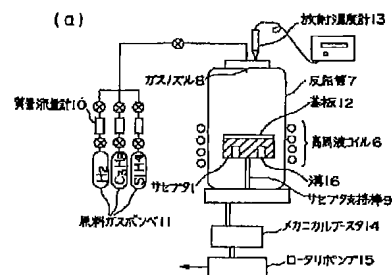
(54) 【発明の名称】 CVD装置用サセプタ及び高周波誘導加熱装置を有するCVD装置

(57) 【要約】

【課題】 CVDコールドウォール法で誘導加熱型サセプタにより基板を加熱する場合、直径3インチ以上の基板を1300℃以上の高温でも、基板面内で均一に加熱を行い、また基板／サセプタ接触面と結晶成長面間の温度均一化を行って、良質なエピタキシャル結晶を得る。

【解決手段】 高周波誘導加熱装置を備えたCVD装置は、高周波コイルにより発生する磁界と平行方向に、且つ基板を支える面と反対側に溝構造を持つサセプタを有し、この溝構造は円柱形をなすサセプタ形状と同軸のリング形状である。

【効果】 基板を支える面での温度分布が均一となり、基板面内で均一に基板加熱することが可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波コイルの高周波誘導により加熱され、該高周波コイルにより発生する磁界の方向に且つ基板を支える面と反対側に溝を有するCVD装置用サセプタ。

【請求項2】 前記サセプタは円柱状に形成され、前記溝は前記サセプタと同心状のリング状溝である請求項1記載のCVD装置用サセプタ。

【請求項3】 前記サセプタ端（側面）から前記溝の切り口（溝の外周側面）までの距離aに対する溝深さbの比と溝幅cの比を、それぞれ $3/3 \leq b/a \leq 5/3$ 、 $3/6 \leq c/a \leq 5/6$ とした請求項2記載のCVD装置用サセプタ。

【請求項4】 高周波コイルの高周波誘導により発熱されるサセプタであって、そのサセプタの周囲に、該サセプタからの輻射熱を吸収、放熱し、且つ磁界の侵入が可能な材料からなる熱輻射体を備えたCVD装置用サセプタ。

【請求項5】 高周波コイルの高周波誘導により加熱され、内部を原料ガスが通り抜ける貫通孔を有し、且つその貫通孔内に、基板を支える面を有するCVD装置用サセプタ。

【請求項6】 原料ガスの注入用のガスノズルを備えた反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により加熱され、該高周波コイルにより発生する磁界の方向に、且つ基板を支える面と反対側に溝を有するサセプタと、を備えた高周波誘導加熱装置を有するCVD装置。

【請求項7】 前記サセプタは円柱状に形成され、前記溝は前記サセプタと同心状のリング状溝である請求項6の高周波誘導加熱装置を有するCVD装置用サセプタ。

【請求項8】 前記サセプタ端（側面）から前記溝の切り口（溝の外周側面）までの距離aに対する溝深さbの比と溝幅cの比を、それぞれ $3/3 \leq b/a \leq 5/3$ 、 $3/6 \leq c/a \leq 5/6$ とした請求項7記載の高周波誘導加熱装置を有するCVD装置用サセプタ。

【請求項9】 原料ガスの注入用のガスノズルを備えた反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により発熱されるサセプタと、前記反応管内において前記サセプタを覆うように配置され、該サセプタからの輻射熱を吸収、放熱し、且つ磁界の侵入が可能な材料からなる熱輻射体と、を備えた高周波誘導加熱装置を有するCVD装置。

【請求項10】 原料ガスの注入用のガスノズルを備え

た反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により加熱され、内部を原料ガスが通り抜ける貫通孔を有し、且つその貫通孔内に、基板を支える面を有するサセプタと、を備えた高周波誘導加熱装置を有するCVD装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体製造等においてCVD（化学気相堆積）法を用いた装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、高電圧及び高電流を制御、変換するパワーデバイスが電力、交通、家電等広範囲に渡り利用されているが、その更なる高性能化や省エネルギー等のための低損失化が求められている。さらに、宇宙、地底、深海など過酷な環境下においても安定的に使用可能な制御デバイスが要求されている。

【0003】パワーデバイスの半導体材料として、従来よりシリコン（Si）が使用されている。LSI加工技術を利用し、デバイス構造を工夫すること等によりシリコンデバイス性能を向上させてきたが、最近ではデバイス性能がシリコン材料そのものから予想される理論的限界に近づきつつある（例えば、M. Bhatnagar 他；IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 40, NO. 3, 1993, P645-655）。

【0004】また、高温、高圧等の過酷な環境下においては、電気的特性及び力学的、化学的安定性から、シリコンをデバイス材料として使用するのとは実質上不可能である。最近の上記パワーデバイス分野及び過酷な環境下での使用に耐えるデバイス分野で、電気的特性及び力学的、化学的安定性から、シリコンカーバイト（シリコンC）がシリコンに代わる材料として注目されている。

【0005】シリコンカーバイトをシリコンに代わる材料とするパワーデバイス研究では、例えばC. Y. Yang他編の「Amorphous and Crystalline Silicon Carbide」（Springer-Verlag, 1992）のP40-P119にあるように、シリコンカーバイトを半導体材料としたデバイスを製造する技術としてCVD法が頻繁に使用されている。

【0006】CVD法はエピタキシャル薄膜などを作製する方法であり、その他エピタキシャル薄膜を作製する方法としてスパッタ法、電子ビーム法、分子イオンエピタキシャル法等があるが、CVD法は量産性において優れている。通常、熱CVD法によりシリコンカーバイトをエピタキシャル成長させる場合、高温まで基板

を加熱する必要がある、その基板を1300℃以上に保持する必要がある(例えば、M. M. Rahman他編; Amorphous and Crystalline Silicon Carbide「(Springer-Verlag, 1989) P14-P19)。熱CVD法において、反応管を加熱せずに基板を加熱する方法をコールドウォール法という。コールドウォール法では、基板を含めたその近傍のみが発熱するため、反応管の内壁や雰囲気は加熱されず、パーティクルの発生が極端に抑制される(化学工学会編; CVDハンドブック(朝倉書店、1991、540P))。

【0007】このような特長から、シリコンカーバイドをCVD法により作製する場合、コールドウォール法が頻繁に使用されている。コールドウォール法では、基板温度を高温に保持する手段として、グラファイトからなるサセプタ上に基板を接触させ、高周波誘導によりサセプタを加熱することにより基板を高温に加熱保持する方法がある。また、この方法では3インチ基板以上等の大きな基板の加熱も可能である。コールドウォールCVD法で基板を1300℃以上に保持するその他の加熱法として、サセプタに電流を流すことにより加熱する抵抗加熱法があるが技術的に確立されているとは言えず、安定的な高温保持を期待できない。従って、現在、基板を1300℃以上に保持する一番確実な方法は、高周波誘導によるサセプタ加熱であると言える。

【0008】通常使用される図2の(a)に示すサセプタ1'の形状では、サセプタ1'内に侵入する磁界がサセプタ外側の一部であり、それによる渦電流も限られた領域のみで流れる。発熱はこの渦電流とサセプタの電気抵抗によるジュール発熱により生じるため、サセプタ1'内での発熱領域もサセプタ外側の限られた領域となる。通常、サセプタ1'の材料としてグラファイトが使用されるが、誘導周波数が数10KHzの場合、磁界のグラファイト製サセプタ1'への侵入深さは約1cm程度となる。サセプタ1'の直径が大きくなると、サセプタ中央付近に渦電流が流れない領域が生じる。

【0009】また、サセプタ外部へは熱輻射による熱放出があるため、図2の(a)のような単純なサセプタ構造の場合、サセプタ中央付近の温度が低くなる。実際、本発明者らが図2の(a)で示した形状と同形状で、大きさが3インチ基板を載せることが可能な、グラファイトからなるサセプタを20 Torrの真空中で周波数23KHz、出力約30KWの高周波コイルにより加熱を行い、基板を載せるサセプタ表面の温度分布を測定した結果では、中央部と外側での温度差が約50℃(3.6%)であった。

【0010】例えば、化学工学会編の「CVDハンドブック」(朝倉書店、1991)のP26-P27にあるように、エピタキシャル成長を行う場合、このような温度差が有ると均一な特性を持った成長膜を得ることはで

きない。少なくとも3インチ基板を載せることが可能な大きさを持つサセプタでは、図2の(a)にあるような単純なサセプタ構造で均一な温度分布を得るのは不可能である。

【0011】一方、量産性という観点からCVD法の特長を生かすには、大きな基板を使用する必要がある。従って、CVD法でシリコンカーバイドを作製する場合のように、非常に高い温度を必要とする場合、図2の(a)に示した単純なサセプタ構造では良好な成長膜を得ることは非常に困難であり、サセプタ構造において新しい発明が必要である。

【0012】従来においても、誘導加熱型サセプタの形状に工夫を加えることにより均一な温度分布を狙った技術がある。例えば、図2の(b)に示すように、特開昭56-141198号公報には、基板を載せる面2と反対面に凹部2aを設け、その凹部2aに誘導発熱体3を埋め込むことが記載されている。しかし、先に述べたように、磁界はサセプタ外周辺付近のみしか侵入せず、たとえサセプタ内部に抵抗率の分布を設けることができて、そこには僅かの渦電流しか流れず、従って、抵抗率変化による発熱変化も僅かであり、基板を載せる面2上での温度均一化には少しの効果しかない。この方法では、3インチ以上のサセプタ1'においては、温度均一性を高める効果は期待できない。

【0013】図2の(c)は、特開平4-14216号公報に記載された従来例で、誘導加熱型サセプタ1'での基板接触面2に溝4等を設けることにより接触面積に動径方向分布を持たせ、サセプタ1'に生じている温度分布を相殺するようにしたものである。しかし、サセプタ1'と基板との接触面積が小さくなることにより、サセプタ1'上の基板温度を高温に維持することは非常に困難となる。従って、この従来例では、1300℃以上を必要とする、CVD法によるシリコンカーバイドエピタキシャル成長は不可能となる。

【0014】図2の(d)は、特開平4-14216号公報に記載された従来例で、誘導加熱型サセプタにおいてサセプタ内部の中心から周辺に向かって誘電率を大きくする(例えば、サセプタ周辺部を図2の(d)のように誘電体で覆う)ことにより、サセプタ周辺部の発熱効率を小さくしてより均一な温度分布を得るものである。先に述べたように、磁界はサセプタ周辺から内部に高々1cm程度侵入するのみで、磁界による渦電流も同じ侵入長である。従って、直径2インチ程度のサセプタでは、中心から周辺に向かって誘電率を大きくすることにより、サセプタ周辺部の発熱効率を小さくしても、内部には電流が流れず発熱が生じることはない。従って、図2の(d)に示される従来例は、直径が1インチ程度のサセプタでしか有効でない。

【0015】基板面内での温度均一化は、量産性という観点から重要であるが、良質なCVDエピタキシャル膜

を作製するには、基板／サセプタ接触面2と結晶成長面2'間の温度均一化が重要である。基板／サセプタ接触面2と結晶成長面2'との間の温度差が大きい場合、熱膨張率の相違から基板形状が大きく変化する。CVDコールドウォール法において、約1300℃以上の高温で基板を加熱する場合、基板或いは加熱体とその周囲雰囲気ガスとの温度差が大きいため、大きな熱エネルギーが基板或いは加熱体から外部へ放出される。基板表面或いは加熱体表面温度とその内部の温度差は、高温で特に大きくなる。このような高温では、基板形状が大きく変化してエピタキシャル結晶成長に大きな影響を及ぼす。従来のCVDコールドウォール法では、約1300℃以上に基板を加熱する場合が少なく、このような基板形状の変化が大きな問題となることはなかった。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、CVDコールドウォール法において、誘導加熱型サセプタにより基板を加熱する場合、上記従来技術では、大きさが3インチ程度以上の基板を1300℃以上の高温で面内均一に加熱することは不可能であった。

【0017】また、従来のCVDコールドウォール法においては、約1300℃以上の高温で基板を加熱する場合が少なく、基板／サセプタ接触面と結晶成長面間の温度不均一性が大きな問題にならなかった。しかし、約1300℃以上の高温で基板を加熱する場合、基板形状が変化して良質なエピタキシャル結晶を得ることが困難となる。

【0018】この発明は上述したような従来のCVDコールドウォール法の問題点を解決しようとしたもので、その目的は、CVDコールドウォール法で誘導加熱型サセプタにより基板を加熱する場合において、従来よりも大きな直径の基板を高温でも、基板面内で均一に加熱を行い、また基板／サセプタ接触面と結晶成長面間の温度均一化を行うことにより良質なエピタキシャル結晶を得ることができる高周波誘導加熱装置を備えたCVD装置を提供することにある。

【0019】また、この発明の他の目的は、高温でも、基板及びその近傍空間を同一温度に近づけることにより、基板面内での均一加熱を行うとともに、基板／サセプタ接触面と基板上エピタキシャル膜成長面間の温度均一化を行って、良質なエピタキシャル結晶を得ることができる高周波誘導加熱装置を備えたCVD装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】この発明の請求項1に係るCVD装置用サセプタは、高周波コイルの高周波誘導により加熱され、該高周波コイルにより発生する磁界の方向に且つ基板を支える面と反対側に溝を有するものである。

【0021】この発明の請求項2に係るCVD装置用サ

セプタは、前記サセプタが円柱状に形成され、前記溝が前記サセプタと同心状のリング状溝からなるものである。

【0022】この発明の請求項3に係るCVD装置用サセプタは、前記サセプタ端（側面）から前記溝の切り口（溝の外周側面）までの距離aに対する溝深さbの比と溝幅cの比を、それぞれ $3/3 \leq b/a \leq 5/3$ 、 $3/6 \leq c/a \leq 5/6$ としたものである。

【0023】この発明の請求項4に係るCVD装置用サセプタは、高周波コイルの高周波誘導により発熱されるサセプタであって、そのサセプタの周囲に、該サセプタからの輻射熱を吸収、放熱し、且つ磁界の侵入が可能な材料からなる熱輻射体を備えるものである。

【0024】この発明の請求項5に係るCVD装置用サセプタは、高周波コイルの高周波誘導により加熱され、内部を原料ガスが通り抜ける貫通孔を有し、且つその貫通孔内に、基板を支える面を有するものである。

【0025】この発明の請求項6に係る高周波誘導加熱装置を有するCVD装置は、原料ガスの注入用のガスノズルを備えた反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により加熱され、該高周波コイルにより発生する磁界の方向に、且つ基板を支える面と反対側に溝を有するサセプタと、を備えるものである。

【0026】この発明の請求項7に係る高周波誘導加熱装置を有するCVD装置は、前記サセプタが円柱状に形成され、前記溝が前記サセプタと同心状のリング状溝からなるものである。

【0027】この発明の請求項8に係る高周波誘導加熱装置を有するCVD装置は、前記サセプタ端（側面）から前記溝の切り口（溝の外周側面）までの距離aに対する溝深さbの比と溝幅cの比を、それぞれ $3/3 \leq b/a \leq 5/3$ 、 $3/6 \leq c/a \leq 5/6$ としたものである。

【0028】この発明の請求項9に係る高周波誘導加熱装置を有するCVD装置は、原料ガスの注入用のガスノズルを備えた反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により発熱されるサセプタと、前記反応管内において前記サセプタを覆うように配置され、該サセプタからの輻射熱を吸収、放熱し、且つ磁界の侵入が可能な材料からなる熱輻射体と、を備えるものである。

【0029】この発明の請求項10に係る高周波誘導加熱装置を有するCVD装置は、原料ガスの注入用のガスノズルを備えた反応管と、前記反応管を取り巻くように配置された高周波コイルと、前記反応管内に配置され、前記高周波コイルの高周波誘導により加熱され、内部を原料ガスが通り抜ける貫通孔を有し、且つその貫通孔内

に、基板を支える面を有するサセプタと、を備えるものである。

#### 【0030】

##### 【発明の実施の形態】

実施の形態1. 図1の(a)は本発明の高周波誘導加熱装置を備えたCVD装置の一実施の形態を示す構成図である。また、図1の(b)は図1の(a)の本発明によるサセプタ1を詳細に示したものである。符号2乃至15は上述した従来装置と同一のものである。

【0031】符号7は水冷式の反応管で、この反応管7の外周を巻回するように、高周波コイル6が配置されている。9はサセプタ支持棒、12はエピタキシャル成長のための基板である。13は基板面内温度分布を計測するための放射温度計、11はCVD法によるエピタキシャル成長のための原料ガスを貯蔵する原料ガスボンベ、10は原料ガス流量を調節する質量流量計である。

【0032】このように構成されたCVD装置においては、原料ガスボンベ11より供給される $\text{SiH}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{H}_2$ 等の材料ガスが、質量流量計10により制御、調整され、ガスノズル8より反応管7内へ導入される。反応管7へ導入された原料ガスは、高周波コイル6により誘導加熱するサセプタ1上の基板12上へ到達、反応することにより基板12上に結晶がエピタキシャル成長する。

10

20

#### \* 【0034】

第1表(直径2インチの基板対応サセプタ)

|           | $c/a=1/3$     | $c/a=2/3$   | $c/a=3/3$    |
|-----------|---------------|-------------|--------------|
| $b/a=2/3$ | -1.0°C(0.993) | -5°C(0.996) | -15°C(0.990) |
| $b/a=4/3$ | -5°C(0.996)   | -0°C(1.0)   | -10°C(0.993) |
| $b/a=6/3$ | -5°C(0.996)   | -0°C(1.0)   | -10°C(0.993) |

#### 【0035】

30

第2表(直径3インチの基板対応サセプタ)

|           | $c/a=1/3$     | $c/a=2/3$   | $c/a=3/3$    |
|-----------|---------------|-------------|--------------|
| $b/a=2/3$ | -1.0°C(0.993) | -5°C(0.996) | -15°C(0.990) |
| $b/a=4/3$ | -5°C(0.996)   | -0°C(1.0)   | -10°C(0.993) |
| $b/a=6/3$ | -5°C(0.996)   | -5°C(0.996) | -15°C(0.990) |

#### 【0036】

第3表(直径4インチの基板対応サセプタ)

|           | $c/a=1/3$    | $c/a=2/3$    | $c/a=3/3$    |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| $b/a=2/3$ | -15°C(0.990) | -10°C(0.993) | -15°C(0.990) |
| $b/a=4/3$ | -5°C(0.996)  | -0°C(1.0)    | -10°C(0.993) |
| $b/a=6/3$ | -5°C(0.996)  | -0°C(1.0)    | -15°C(0.990) |

【0037】第1、2及び3表から明らかなように、2インチ、3インチ、4インチ基板対応の各サセプタ1で、 $c/a=2/3$ 且つ $b/a=4/3$ において特に優れた温度均一特性が得られた。

【0038】さらに、サセプタ1上に基板12を載せ温度分布測定を上記予備実験と同様に行った。結果は上記と同様であり、 $c/a=2/3$ 且つ $b/a=4/3$ において特に優れた温度均一特性が得られた。しかし、基板12の温度を1350°Cに維持する場合のコイル6への

※50

\* 【0033】予備実験として、本発明サセプタ形状サイズ及び溝サイズが異なるものを試作し、通常の成膜条件と同程度である真空度を80 Torrとして、図1の(a)の構成の装置によりサセプタ1表面の温度分布を測定した。反応管7上部の放射温度計13のセンサー部の角度を変え、サセプタ表面の温度分布を測定した。直径がそれぞれ2インチ、3インチ及び4インチの基板12に対応するサイズのサセプタ1の溝サイズを、図1の(b)に示すサセプタ端(側面)から溝切り口(溝の外周側面)までの距離aに対する溝深さbの比と溝幅cの比の2つをパラメータとして変化させ、サセプタ面内温度分布を測定した。尚、サセプタ1のサイズ(直径)に応じて反応管7のサイズの異なるものを使用した。また、温度測定は、サセプタ1の中心温度が1350°Cとなるように高周波コイル6の出力調整を行い、サセプタ1の中心と端の温度差を測定した。サセプタ端はサセプタ端面から内側10mm付近の位置とした。直径が2、3、4インチの基板12にそれぞれ対応するサイズのサセプタ1に対する測定結果を第1、2、3表に示す。但し、直径が2、3、4インチの基板12に対応するサセプタ1の各サイズで、 $a=10\text{mm}$ 、 $15\text{mm}$ 、 $20\text{mm}$ とした。表中( )内の数値はサセプタ表面中心温度1350°Cとサセプタ表面端の温度との比である。

※高周波出力を、サセプタ1を1350°Cに維持する場合と比較し、5%程大きくする必要があった。これはサセプタ1と基板12との間に微小な隙間があったためである。しかし、基板12とサセプタ1の接触性は一樣であり、サセプタ表面の温度分布が基板表面温度分布に反映されていた。

【0039】上記予備実験結果より、溝寸法比を $b/a=4/3$ 、 $c/a=2/3$ として、3インチ基板対応のサセプタ1及びそのサセプタサイズに対応した反応管7

を搭載した図1の(a)のような構成の本発明CVD装置を試作し、シリコンカーバイドをシリコン基板上に作製する実験を行った。原料ガスとして、プロパンガス( $C_3H_8$ )、モノシランガス( $SiH_4$ )、水素ガス( $H_2$ )を用いた。また、結晶成長を2段階プロセスにより行った。良質なシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製する場合、この第1段階のプロセス(炭化プロセス)が必要である(例えば、M. M. Rahman他編; Amorphous and Crystalline Silicon Carbide (Springer-Verlag, 1989) P8-P13)。

【0040】第一段階では、サセプタ温度昇温中に水素ガス及びプロパンガスを流し、一定温度1350℃で10分維持する。このプロセスによりシリコン基板表面上に、約10nmのシリコンカーバイド結晶を形成する。このプロセスは一般的に炭化プロセスと呼ばれており、炭素原料ガスのみをシリコン基板上へ供給することにより、シリコン基板構成元素であるシリコンと炭素を反応させてシリコンカーバイド極薄膜を作製する。この炭化プロセスでは、炭素原料ガスのみ供給であるため、作製できるシリコンカーバイドの膜厚は10nm程度であ\*

＊る。

【0041】次に、炭化プロセスに続き、1350℃で水素ガス及びプロパンガスに加え、モノシランガスを流すことにより第2段階のプロセスである成長プロセスを行った。プロセス時間は3時間である。また、後の電子顕微鏡によるエピタキシャルシリコンカーバイド膜の断面観察から、このプロセスによる成長速度は約1.0μmであることが判った。成長の間、基板中央温度と基板端の温度差は殆どなかった。

【0042】成長プロセス後、プロパンガス及びモノシランガスの供給を止め、700℃まで60℃/minの割合で温度を下げ、700℃から自然放冷を行った。成長プロセスを3時間行い、基板中央と端の膜厚の違いを高分解能走査電子顕微鏡(HSEM)により調べ、結晶性をX線回折により調べた。

【0043】比較のため、図2にあるような従来形状のサセプタを使用し、上記と全く同条件でシリコン基板上にシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製し、HSEM及びX線回折により調べた。第4表にその結果を示す。

【0044】

第4表

HSEMによる膜厚測定 X線結果((002)半値幅)

|                 |        |            |
|-----------------|--------|------------|
| 本発明装置(3インチ基板中央) | 2.95μm | 0.15(deg.) |
| 本発明装置(3インチ基板端)  | 2.93μm | 0.14(deg.) |
| 従来装置(3インチ基板中央)  | 2.21μm | 0.56(deg.) |
| 従来装置(3インチ基板端)   | 2.88μm | 0.25(deg.) |

【0045】第4表から、本発明装置を使用した場合、シリコンカーバイドエピタキシャル膜の基板の各部位による膜厚差は殆どなく、1%以下である。また、X線半値幅により調べた結晶性の違いも7%以下である。

【0046】一方、従来装置によりシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製した場合、基板中央と基板端の膜厚差は23%以上であり、X線半値幅による結晶性の相違は44%以上である。このことから明らかなように、本発明装置によれば、従来装置を用いた場合に比べて、面内均一性が優れたシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製することが可能である。

【0047】また、本発明装置を使用し、上記と同一の作製条件で連続して7回の成膜を実施し、シリコンカーバイドエピタキシャル膜の作製再現性について調査したところ、本発明装置によるシリコンカーバイドエピタキシャル膜は膜厚分布及び結晶性において大きなばらつきがなく、再現性が良いことが判った。

【0048】さらに4インチ基板対応のサセプタ及び反※

※応管を搭載した図1の(a)のような構成の本発明CVD装置を試作し、上記3インチ基板対応のサセプタ1及び反応管7を使用したシリコンカーバイドエピタキシャル膜作製実験と同様な実験を行った。但し、原料ガス流量を先の3インチ基板対応のサセプタ1及び反応管12を使用したシリコンカーバイドエピタキシャル膜作製実験の1.8倍とした。これは、基板12への原料ガス到達割合を、先の3インチ基板対応の場合と同一とするためである。他のシリコンカーバイドエピタキシャル成長条件である圧力、温度等は上記シリコンカーバイドエピタキシャル実験と同一条件とした。

【0049】比較のため、図2の(a)にあるような従来形状の4インチサセプタを使用し、上記と全く同一条件でシリコン基板上にシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製し、HSEM及びX線回折により基板位置による膜厚差と結晶性の違いを調べた。その結果を第5表に示す。

【0050】

第5表

HSEMによる膜厚測定 X線結果((002)半値幅)

|                 |        |            |
|-----------------|--------|------------|
| 本発明装置(4インチ基板中央) | 2.87μm | 0.15(deg.) |
| 本発明装置(4インチ基板端)  | 2.89μm | 0.14(deg.) |
| 従来装置(4インチ基板中央)  | 1.91μm | 0.67(deg.) |

【0051】第5表から、4インチ基板対応の本発明装置によれば、4インチ基板中央と基板端の基板位置による膜厚差は1%以下であり、X線半値幅による結晶性の違いも7%以下である。一方、従来装置によりシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製した場合、基板中央と基板端の膜厚差は30%以上であり、X線半値幅による結晶性の相違は65%以上である。

【0052】従って、本発明の4インチ基板対応装置によれば、膜厚及び結晶性の面内均一性が優れたシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製することが可能である。また、第5表の本発明4インチ基板対応装置結果と第4表の本発明3インチ基板対応装置による結果は殆ど同じであり、3インチ以上の基板に対しても本発明により均一なエピタキシャル結晶膜の作製が可能であることが判明した。

【0053】実施の形態2。図3の(a)は本発明の実施の形態2を示す装置構成図である。符号1は本発明によるサセプタで、符号2乃至15は従来装置と同一のものである。符号17は本発明による熱輻射体で、一端(下端)を開放され、他端(上端)を閉鎖された円筒体から形成され、閉鎖上端には原料ガスを通過させるための多数の通過孔18が穿設されている。12はエピタキシャル成長のための基板である。9はサセプタを支持棒、6は高周波コイル、7は水冷式の反応管、11はCVD法によるエピタキシャル成長のための原料ガスポンペ、10は原料ガス流量を調節する質量流量計である。

【0054】このように構成されたCVD装置においては、原料ガスポンベ11より供給される材料ガスが、質\*

\*流量計10により制御、調整され、ガスノズル8より反応管7内へ導入される。反応管7へ導入された原料ガスは、サセプタ1上方にある熱輻射体17の通過孔18を通り抜け、高周波コイル6により誘導加熱されるサセプタ1上の基板12上へ到達し、反応することにより基板12上にエピタキシャル結晶が成長する。また、サセプタ温度調整及びサセプタ内部温度を調べるため、熱電対21をサセプタ支持棒9よりサセプタ1内部へ導入した。図3の(b)は本発明による熱輻射体17を示した図である。

【0055】予備実験により熱輻射体17による熱輻射が基板温度分布に与える影響を調べた。3インチ基板対応のサセプタ1及び反応管7と熱輻射体17を使用し、実施の形態1の予備実験と同様に、サセプタ溝サイズが異なるものを試作し、通常の成膜条件と同程度である真空度を80Torrとして、図3の(a)の構成装置によりサセプタ1上の基板12の温度分布を測定した。基板温度を測定するため、熱電対21を基板12へ接触させた。測定点は2箇所、サセプタ中心とサセプタ端から内側10mm付近とした。サセプタ端から溝切り口までの距離に対する溝深さの比と溝幅の比の2つのパラメータb/a、c/aを実施の形態1の予備実験と同様に变化させた。サセプタ中心温度が1350℃となるようにコイル出力調整を行った。また、次の第6表中( )内の数値はサセプタ表面中心温度1350℃とサセプタ表面端の温度差との比である。その結果を第6表に示す。

【0056】

第6表

|         | c/a=1/3    | c/a=2/3    | c/a=3/3     |
|---------|------------|------------|-------------|
| b/a=2/3 | -9℃(0.993) | -5℃(0.996) | -11℃(0.992) |
| b/a=4/3 | -3℃(0.998) | -1℃(0.999) | -7℃(0.995)  |
| b/a=6/3 | -6℃(0.996) | -5℃(0.996) | -8℃(0.994)  |

【0057】第6表から明らかなように、溝深さの比と溝幅の比の2つのパラメータb/a、c/aがb/a=4/3、c/a=2/3の時、基板中心温度と基板端の温度差が小さく、熱輻射体17が基板温度分布に与える影響は極く僅かである。この結果は、実施の形態1の予備実験と略同じである。尚、上記実施の形態1及び2における測定条件では、真空度が80Torrであり、放射温度計による測定誤差が±2℃以内に収まらず、たかだか±3℃程度と考えられる。従って、測定誤差を±3℃とした場合、溝深さの比と溝幅の比の2つのパラメータb/a、c/aの範囲は、実用上それぞれ3/3≤b/a≤5/3、3/6≤c/a≤5/6としてもよい。

【0058】また別の予備実験として、ノズル方向から見た通過孔18のパターンによるガス流の違いが基板温度に与える効果を調べた。3インチ基板対応サセプタ1を、材質がシリコンカーバイドの熱輻射体17により覆

※い、ガス流上流から見た通過孔パターンを図4の

(a)、(b)及び(c)として、水素ガス5.0\*SLMを反応管7へ導入し、基板温度を測定した。但し、熱輻射体形状は図3の(b)のようにした。温度測定は、熱電対21を3インチシリコン基板表面とサセプタ支持棒9を通してサセプタ1内部へ導入することにより行った。測定点は基板表面上では中央と基板端から内側10mmの2カ所、サセプタ内部では中央表面付近及びサセプタ端から内側10mmの表面付近の2カ所、計4カ所である。サセプタ内中央表面近傍に設置した熱電対21によりサセプタ温度を調節した。さらに、サセプタ温度を1350℃となるように制御した。

【0059】比較のため従来装置を使用し、熱電対位置を基板表面中央、基板端から内側10mm及びサセプタ内中央表面付近及びサセプタ端から内側10mmの表面付近として温度を測定した。上記と同一条件で測定を行

った。第7表にその温度測定結果を示す。

\* \* 【0060】

第7表

|           | サセプタ内部<br>中央表面側 | 基板表面中央 | サセプタ内部端<br>端から10mm | 基板表面端<br>から10mm |
|-----------|-----------------|--------|--------------------|-----------------|
| 図4(a)パターン | 1350℃           | 1346℃  | 1349℃              | 1344℃           |
| 図4(b)パターン | 1350℃           | 1348℃  | 1350℃              | 1346℃           |
| 図4(c)パターン | 1350℃           | 1347℃  | 1350℃              | 1345℃           |
| 従来装置      | 1350℃           | 1300℃  | 1385℃              | 1310℃           |

【0061】第7表から明らかなように、本発明装置によれば、何れの通過孔パターンによっても、サセプタ内表面付近温度と基板表面温度との差は僅かである。一方、従来装置では、サセプタ内表面付近温度と基板表面温度との差が大きく、特に基板端で70℃の差がある。これは基板端で基板12が反り、サセプタ1との接触が小さくなったためである。この結果、本発明装置により基板/サセプタ接触面と基板表面間の温度不均一性が低減することが判明した。

【0062】上記予備実験から通過孔パターンとして図4の(b)に示したものを選び、図3の(a)に示したような構成で本発明装置によりシリコンカーバイトエピタキシャル成長実験を行った。但し、輻射体形状を図3※

※の(b)に示したのと同様なものとした。成長条件は実施の形態1と同様であり、原料ガスとして、プロパンガス(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、モノシランガス(SiH<sub>4</sub>)、水素ガス(H<sub>2</sub>)を用いた。また、3インチ基板及び4インチ基板それぞれに対応した本発明装置を使用した。基板温度は、基板中央を基準として1350℃でエピタキシャル成長を行った。

【0063】3インチ基板及び4インチ基板上に作製したそれぞれのシリコンカーバイトエピタキシャル結晶を、X線回折による半値幅により結晶性を調査した。本発明装置による結果及び従来装置による結果を第8表に示す。

【0064】

第8表

|             | 本発明<br>3インチ | 本発明<br>4インチ | 従来<br>3インチ | 従来<br>4インチ |
|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| X線回折(中央)半値幅 | 0.09        | 0.10        | 0.56       | 0.67       |
| X線回折(端)半値幅  | 0.10        | 0.12        | 0.25       | 0.23       |

【0065】上記結果からも明らかなように、本発明の3インチ及び4インチ基板対応のCVD装置から結晶性の優れたシリコンカーバイトエピタキシャル膜を作製することができた。また、透過電子顕微鏡(TEM)を使用し、本発明により作製したシリコンカーバイトエピタキシャル結晶及び従来装置によるシリコンカーバイトエピタキシャル結晶の断面観察を行った。その結果、従来装置によるエピタキシャル結晶と比べて、本発明装置によるエピタキシャル結晶は、結晶欠陥が非常に少なく、均一な結晶膜であることが判明した。

【0066】上記実施の形態2では、熱輻射体材料としてシリコンカーバイトを用いたが、伝導性の小さいグラファイトを用いても同等な効果が得られた。一方、ムライトを用いた場合には、ひび割れが発生した。これはサセプタ1からの輻射熱量が熱遮蔽体の場所により異なり、熱伝導率が低いムライトが部分的に異なる熱膨張を起こしたためである。

【0067】実施の形態3。図5の(a)は本発明の実施の形態3を示す装置構成図である。符号1はサセプタであり、外寸は上記実施の形態1及び2で述べた3インチ対応サセプタと同様である。また、図5の(b)は本発明装置構成部品である誘導加熱型サセプタ1を詳細に示したものである。19はサセプタ1を貫通するように形成された貫通孔としての基板設置孔で、この平面形状★50

★が略四角形の基板設置孔19には、図5の(a)から明らかなように、断面が三角形状の基板支持部1aがサセプタ1と一体的に形成されている。三角形状の基板支持部1aの基板設置孔19の側面と対向する基板支持面1bには、下部に基板止め20が設けられており、方形の基板12の下辺を基板止め20に当接させて該基板12を基板支持面1b上に支持し得ようになっている。21は基板温度を測定するため、一端を基板支持面1bに近接して基板支持部1aに埋設され、他端を温度計22に接続された熱電対である。

【0068】このように構成されたCVD装置においては、原料ガスボンベ11より供給される材料ガスが、質量流量計10により制御、調整され、ガスノズル8より反応管7内へ導入される。ガスノズル8から反応管7内に導入された原料ガスの一部は、高周波誘導加熱されたサセプタ1内の基板設置孔19を通る。この際、一部の原料ガスは分解、反応し、サセプタ1内に置かれた基板12上で結晶がエピタキシャル成長する。

【0069】上記のような構成の本発明CVD装置を試作し、シリコン基板上にシリコンカーバイトエピタキシャル成長実験を行った。成長条件は実施の形態1と同様であり、原料ガスとして、プロパンガス(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、モノシランガス(SiH<sub>4</sub>)、水素ガス(H<sub>2</sub>)を用いた。また、結晶成長は2段階プロセスにより行った。第一段



では、基板温度昇温中に水素ガス及びプロパンガスを流し、一定温度1350℃で10分維持した。次に、1350℃で水素ガス及びプロパンガスに加え、モノシランガスを流すことにより第2段のプロセスである成長プロセスを行った。プロセス時間は3時間である。成長プロセス後、プロパンガス及びモノシランガスの供給を止め、700℃まで60℃/minの割合で温度を下げ、700℃から自然放冷を行った。基板温度及びサセプタ温度測定は上部からの熱放射温度計13とサセプタ下部からの熱電対21により行った。

【0070】基板12を含むサセプタ1内の温度均一性\*

10 結果を第9表に示す。

【0071】

第9表

|           | 端1(垂直)       | 中央           | 端2(水平)       |
|-----------|--------------|--------------|--------------|
| X線回折(半値幅) | 0.07         | 0.06         | 0.07         |
| HSEM(膜厚)  | 2.15 $\mu$ m | 2.14 $\mu$ m | 2.14 $\mu$ m |

【0072】第9表から明らかなように、本発明装置により基板位置に関係なくX線半値幅が非常に狭く、またHSEMによる膜厚変化も殆ど無い良質なシリコンカーバイドエピタキシャル膜を作製できた。また、透過電子顕微鏡(TEM)を使用し、本発明により作製したシリコンカーバイドエピタキシャル結晶の断面観察を行った。その結果、膜厚方向での結晶成長が均一であることが判った。さらに、本発明による再現性を調べるため、同一条件でシリコン上へのシリコンカーバイドエピタキシャル成長を3回行ったところ、上記と同じ特性であった。本発明装置により作製したエピタキシャル膜は、実施の形態1の第4表にある従来装置によるエピタキシャルシリコンカーバイド薄膜と比較して、非常に優れた結晶性を有していた。

【0073】

【発明の効果】以上のように、請求項1乃至3及び請求項6乃至8の本発明によれば、高周波誘導により加熱され、高周波磁界方向に且つ基板を支える面と反対側に溝を有するサセプタ1を備えるので、サセプタ1に形成された溝16より磁界がサセプタ1内に侵入し、溝16の両側対向面の熱放射による熱交換により、高温領域が溝16のサセプタ中心近傍に形成される。この高温領域がサセプタ中心付近に形成されることにより、基板接触面4での温度分布が均一となる。従って、従来よりも大きな基板を高温で基板面内で均一に加熱することができ、面内均一にエピタキシャル膜を成長させることができるという効果がある。

【0074】また、請求項4及び請求項9の発明によれば、高周波誘導により発熱されるサセプタ周囲に、サセプタ1からの放射熱を吸収、放熱し、且つ磁界の侵入が可能な材料からなる熱放射体17を設けることにより、サセプタ1及びサセプタ上の基板12からの放射熱を熱放射体17が吸収、放熱することにより、基板/サセプタ接触面からのみ加熱されるだけでなく、結晶成長面も加熱され、基板/サセプタ接触面と結晶成長面間の温度

\*は、サセプタ1上部からの視察で基板12とサセプタ1内部壁の放射色が同じ事からも確認できた。また、サセプタ1内部の基板12直下に設置した熱電対21による温度と放射温度計13による温度は誤差の範囲で略一致した。結晶面内の結晶性均一性と膜厚の均一性をX線回折及びHSEMを使用し、本発明装置により作製した20x40mm角シリコンカーバイドエピタキシャル膜の中央と端(原料ガス流に対し基板中央から垂直方向15mmと水平方向5mm)2点、計3箇所を調べた。その

※均一性を高めることができる。従って、従来よりも大きな基板を高温で、基板/サセプタ接触面と結晶成長面間の温度均一性を高めて、結晶性が膜厚方向に均一で良質なエピタキシャル結晶を作製することができるという効果がある。

【0075】さらに、請求項5及び10の発明によれば、サセプタ1は、高周波誘導により加熱されその内部を原料ガスが通り抜け、且つその同じ内部に基板を支える面を有するので、基板12を含むサセプタ1内部の一部空間が均一に加熱され、基板全体が均一な温度分布となる。従って、高温でも基板12を含むサセプタ1内部の一部空間を均一に加熱して、基板面内での均一加熱及び基板/サセプタ接触面と結晶成長面間の均一加熱をすることにより、基板全体を同一温度として良質なエピタキシャル結晶を作製することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a)は本発明の実施の形態1を示す構成図であり、(b)は本発明の実施の形態1の構成部品を詳細に示した図である。

【図2】 従来の誘導加熱型サセプタを示す図である。

【図3】 (a)は本発明の実施の形態2を示す構成図であり、(b)は本発明の実施の形態2の構成部品を詳細に示した図である。

【図4】 本発明の実施の形態2のノズル方向から見た通過孔のパターンを詳細に示した図である。

【図5】 (a)は本発明の実施の形態3を示す構成図であり、(b)は実施の形態3の誘導加熱型サセプタの詳細図である。

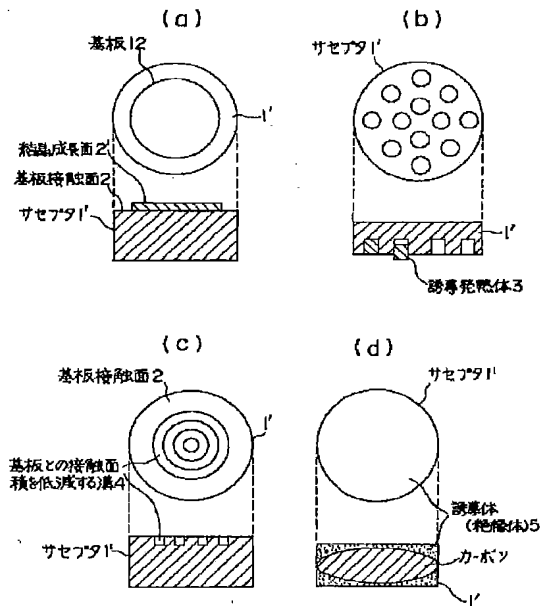
【符号の説明】

1 本発明サセプタ、1' 従来のサセプタ、2 サセプタ基板接触面、2' 結晶成長面、3 従来例の誘導加熱体、4 従来例の溝、5 従来例の誘電体(絶縁体)、6 サセプタ加熱のための高周波コイル、7 反応管、8 原料ガスを反応管へ噴出するガスノズル、9

17

サセフタを支えるサセフタ支持棒、10ガス流量を調節する質量流量計、11 原料ガスボンベ、12 エピタキシャル膜成長用の基板、13 放射温度計、14 真空引きのためのメカニカルブースタ、15 真空引きのためのロータリポンプ、16 本発明サセフタの溝、

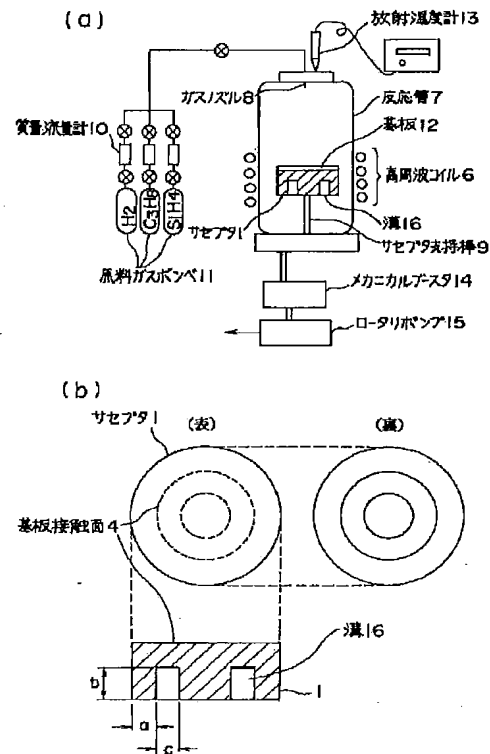
【図1】



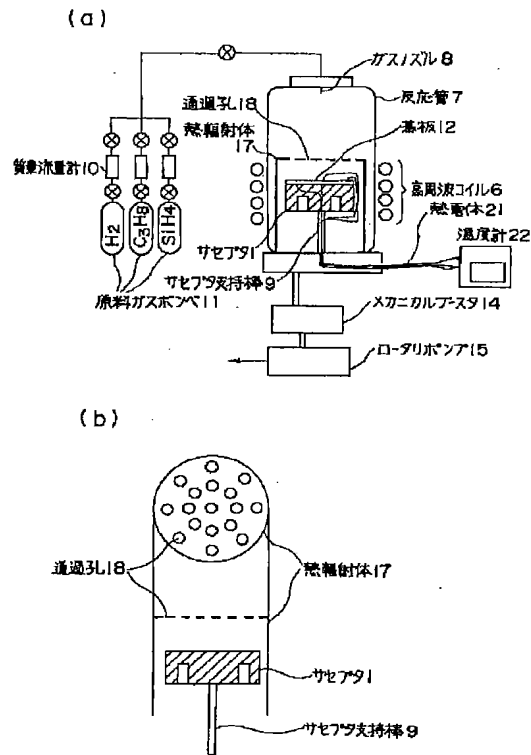
18

17サセフタを覆う熱輻射体、18 原料ガスが通る熱輻射体にある通過孔、19サセフタ中にあり原料ガスが通り且つ基板を設置する基板設置孔（貫通孔）、20 基板設置孔中にある基板止め、21 熱電対、22 温度計。

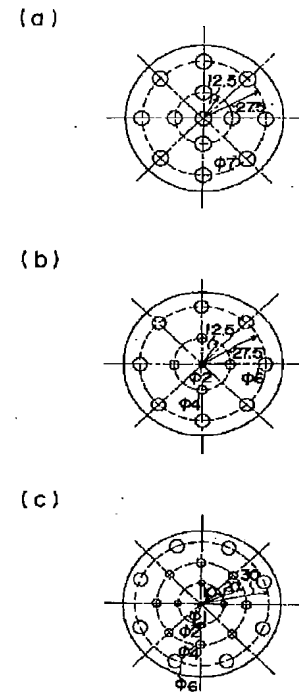
【図2】



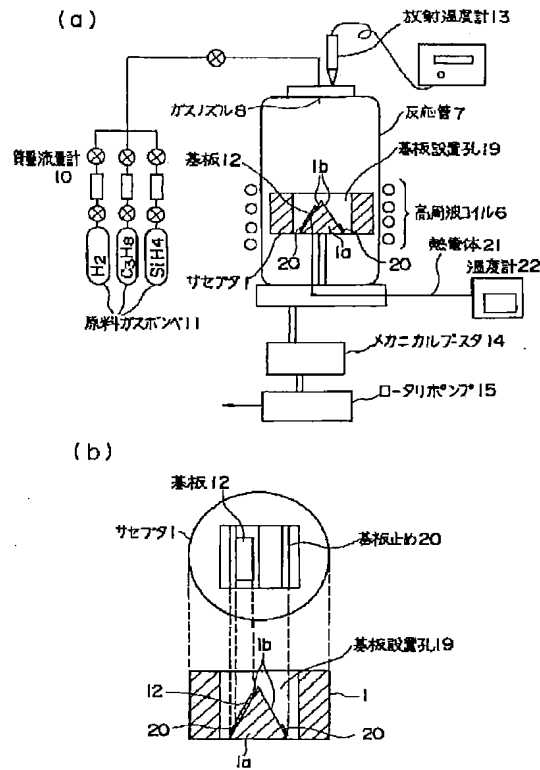
【図3】



【図4】



【図5】



【手続補正書】

【提出日】平成8年8月29日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】 本発明の実施の形態1を示す構成図である。

【手続補正書】

【提出日】平成8年8月30日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】 (a)は本発明の実施の形態1を示す構成図であり、(b)は本発明の実施の形態1の構成部品を詳細に示した図である。

【手続補正2】

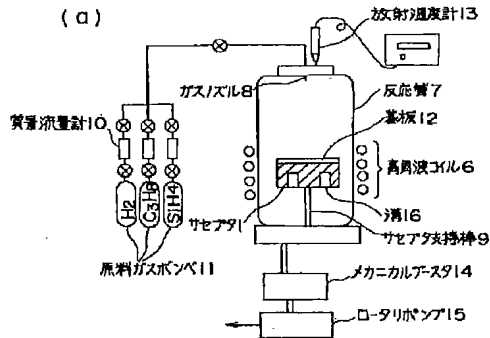
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】



【手続補正3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図2】

